

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Testy keramických řezných nástrojů Greenleaf na  
materiálu C45 na simulátoru přerušovaného řezu

Greenleaf Ceramic Cutting Tools on Material C45 with an  
Interrupted Cut Simulator

Student: Ladislav Kyncl

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Ostrava 2011

## Zadání bakalářské práce

Student: **Ladislav Kyncl**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**  
Téma: **Testy keramických řezných nástrojů Greenleaf na materiálu C45 na  
simulátoru přerušovaného řezu  
Greenleaf Ceramic Cutting Tools on Material C45 with an Interrupted  
Cut Simulator**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Přehled zkoušek nástrojů při přerušovaném řezu.
3. Experimentální testování nástrojů.
4. Vyhodnocení testů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NESLUŠAN, Miroslav; TUREK, Stanislav; BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; TABAČEK, Marian. *Experimentální metody v trieskovém obrábění*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; SADÍLEK, Marek; PETŘKOVSKÁ, Lenka; NOVÁKOVÁ, Jana. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archived/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] VASILKO, Karol; HAVRILA, Michal; MARCINCIN-NOVÁK, Jozef; MÁDL, Jan; ZAJAC, Jozef. *Top trendy v obrábění, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80-968954-2-7.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ..... 17.5.2011 .....

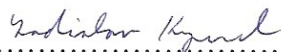
..... Ladislav Kyncl .....

Ladislav Kyncl

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci ne poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 17.5.2011

  
.....

Kyncl Ladislav

Ladislav Kyncl

Budovatelů 4, Krnov 794 01

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KYNCL, L. *Testy keramických řezných nástrojů Greenleaf na materiálu C45 na simulátoru přerušovaného řezu: bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2011, 38 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Robert Čep, Ph.D

Cílem této bakalářská práce jsou zkoušky keramických řezných nástrojů na simulátoru přerušovaného řezu. V úvodní části je popsáno použití a rozdělení řezné keramiky. V další části je přehled zkoušek při přerušovaném řezu, výhody a nevýhody jednotlivých druhů. Dále je popsán průběh testu, vyhodnocení a grafické závislosti výsledků. Při zkouškách byl sledován počet rázů, které destička dokáže vydržet. Pro testy byl zvolen tzv. lištový test. Testovány byly keramické destičky od americké firmy Greenleaf. Vybrány byly dva druhy destiček a to WG-300 a GEM7. Jako obráběný materiál byla zvolena ocel C45 (dle ČSN 12 050).

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KYNCL, L. *Greenleaf Ceramic Cutting Tools on Material C45 with an Interrupted Cut Simulator: Bachelor Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2011, 38 p. Thesis head: doc. Ing. Robert Čep, Ph.D

The objective of this bachelor thesis tests of ceramic cutting tools with an interrupted cut. The introductory section describes the use and distribution of cutting ceramics. The next section is an overview of tests of interrupted cutting, the advantages and disadvantages of each species. The following describes the test procedure, depending on evaluation and graphic results. The test was monitored by the number of shocks, which plane can resist. For the test was chosen puff pastry. Tested were ceramic plates from American corporation Greenleaf. Were chosen two types of plates WG-300 and GEM7. As the machining material was chosen steel C45 (according to ČSN 12 050).

## SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK, SYMBOLŮ A ZKRATEK

| <b>Značení</b>  | <b>Význam</b>                                       | <b>Jednotky</b> |
|-----------------|---|-----------------|
| C45             | Značka oceli 12 050 dle ČSN EN 10027-1              | [-]             |
| GEM7            | Označení destičky firmy Greenleaf                   | [-]             |
| WG-300          | Označení destičky firmy Greenleaf                   | [-]             |
| $a_p$           | Hloubka řezu  | [mm]            |
| $v_c$           | Řezná rychlost                                      | [m/min]         |
| $\alpha_0$      | Ortogonální úhel hřbetu                             | [°]             |
| $\gamma_0$      | Ortogonální úhel čela                               | [°]             |
| $\lambda_s$     | Úhel sklonu ostří                                   | [°]             |
| $\kappa_r$      | Úhel nastavení hlavního ostří                       | [°]             |
| $\varepsilon_r$ | Úhel špičky   | [°]             |
| SNGN            | Označení druhu a tvaru vyměnitelné břitové destičky | [-]             |
| CSRNR           | Označení druhu a tvaru nástrojového držáku          | [-]             |
| $f$             | Posuv   | [mm]            |
| R               | Počet rázů  | [-]             |
| l               | Obrobená délka                                      | [mm]            |

## Obsah

|   |    |
|---|----|
| SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK, SYMBOLŮ A ZKRATEK .....          | 6  |
| 1 Úvod .....  | 9  |
| 2 Řezná keramika .....                                    | 10 |
| 2.1 Aplikace a vlastnosti řezných materiálů .....         | 11 |
| 2.2 Použití řezné keramiky .....                          | 12 |
| 2.2.1 Soustružení .....                                   | 13 |
| 2.2.2 Frézování .....                                     | 13 |
| 2.3 Rozdělení řezné keramiky .....                        | 14 |
| 3 Přehled zkoušek nástrojů při přerušovaném řezu .....    | 16 |
| 3.1 Zkouška při podélném soustružení (lištový test) ..... | 16 |
| 3.2 Zkouška při podélném soustružení s drážkami .....     | 18 |
| 3.3 Zkouška při příčném soustružení (čepový test) .....   | 19 |
| 3.4 Zkouška při frézování .....                           | 19 |
| 3.5 Zkouška vodorovným obřazením .....                    | 20 |
| 4 Experimentální testování nástrojů .....                 | 21 |
| 4.1 Zkoušené keramické destičky, nástrojový držák .....   | 21 |
| 4.2 Materiál použitých lišt .....                         | 22 |
| 4.3 Použitý soustruh .....                                | 23 |
| 4.3 Řezné parametry .....                                 | 23 |
| 4.5 Mezní počet rázů .....                                | 24 |
| 4.6 Příprava simulátoru před měřením .....                | 24 |
| 5 Vyhodnocení testů .....                                 | 25 |
| 5.1 Vyhodnocovací zařízení .....                          | 25 |
| 5.2 Vyhodnocení VBD WG-300 .....                          | 25 |
| 5.2.1 Grafické vyhodnocení VBD WG-300 .....               | 28 |
| 5.3 Vyhodnocení VBD GEM7 .....                            | 29 |
| 5.3.1 Grafické vyhodnocení GEM7 .....                     | 31 |

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 5.3 Grafické porovnání VBD ..... | 33 |
| Závěr .....                      | 36 |
| Seznam použité literatury .....  | 37 |



# 1 Úvod

Obrábění je realizováno hlavně pomocí částí soustavy stroj – nástroj – přípravek - obrobek. Nejdůležitější ze všech je ale vzájemný vztah nástroje s obrobkem. V dnešní době vznikají nové konstrukční materiály, pro které je také potřeba vyvíjet nové řezné materiály s vysokou schopností odolávat vysokým teplotám a silám při procesu obrábění. Při použití vhodného materiálu destičky a řezných parametrů, je také možné dosáhnout velmi nízkých hodnot drsnosti, díky čemuž nám odpadne následná operace broušení. Toto nám může v praxi ušetřit náklady s tím spojené. Zvýšení trvanlivosti nástrojů o 50 % nám umožní snížit celkovou cenu výrobku o 1 %, ale také zvýšení řezné rychlosti o 20 % může vést ke snížení ceny výrobku o 15 %. [10] Tyto vlastnosti nám umožňují zvyšovat efektivnost třískového obrábění zvyšováním řezných podmínek a používáním nových řezných materiálů.

Řezná keramika v poslední době prošla velice intenzivním vývojem, čímž byly zlepšeny její potřebné vlastnosti z hlediska mechanického a tepelného namáhání při přerušovaném řezu. To umožňuje širší pole použitelnosti destiček z keramických materiálů za předpokladu vysoké stability a přesnosti stroje, potřebného výkonu a vysokých otáček. Při vývoji nových materiálů nebo vylepšení vlastností těch stávajících je také potřeba následných zkoušek nástrojů popřípadě vyměnitelných břitových destiček.

V této bakalářské práci je mým úkolem v teoretické části vyhotovit přehled o zkouškách řezných materiálů při přerušovaném řezu. Obsažena bude také kapitola o řezné keramice a jejím použití a rozdělení. Budou provedeny praktické zkoušky řezné keramiky na simulátoru přerušovaného řezu zvaném lištový test na materiálu C45. Jedná se o test při soustružení, kde řezný nástroj v mém případě destička z řezné keramiky upnuta v nástrojovém držáku, střídavě vniká a vychází z řezu. Na destičku budou působit mechanické a tepelné rázy, které snižují trvanlivost testovaných destiček. Následně bude zpracováno vyhodnocení pomocí grafů závislosti počtu rázů na posuvu a počtu rázů na řezné rychlosti. Porovnání jednotlivých druhů destiček a možnosti jejich aplikace při soustružení přerušovaným řezem u použitých posuvů a řezných rychlostí. Práce bude obsahovat také snímky opotřebení destiček pomocí mikroskopu. Testovány budou dva druhy vyměnitelných břitových destiček americké firmy Greenleaf. Jedná se o typy destiček GEM7 a WG-300.

## 2 Řezná keramika

Řeznou keramiku lze definovat jako převážně krystalický materiál, který je hlavně složen z anorganických sloučenin nekovového charakteru. Mezi tyto materiály lze zařadit jak porcelán nebo cihly, ale také brousící materiály. Dále lze také zařadit nové průmyslové materiály jako oxidická keramika ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$  a další), nitridy (na bázi Si, B, Al) a další. O nově používané keramice se dá říct, že je vyráběna z velmi čistých surovin. Keramika známá z běžného života obsahuje na rozdíl od technické keramiky také velký podíl amorfni skelné fáze. V keramických látkách jsou vázány atomy iontovými a kovalentními vazbami současně, nevyskytuje se tedy pouze jeden druh vazby. U destiček z tohoto materiálu je požadována vysoká odolnost proti opotřebení, vysoká tepelná stálost, vysoká tvrdost a další. [2]



Obr. 2.1 Ukázka řezné keramiky firmy Greenleaf

## 2.1 Aplikace a vlastnosti řezných materiálů

Intenzivním výzkumem se v posledních letech výrazně zlepšily některé vlastnosti keramických materiálů, to umožnilo rozšíření použitelnosti těchto materiálů ve strojírenství. Charakteristické vlastnosti keramických materiálů umožňují jejich použití v následujících odvětvích: [2]

- Tepelné aplikace – odolnost vůči vysokým teplotám, stabilita tvaru při tahu a tlaku i za působení vysokých teplot, odolnost proti náhlým změnám teploty, nízká tepelná roztažnost, schopnost akumulace tepla
- Mechanické aplikace – vysoká tvrdost a odolnost proti opotřebení, dobré stabilní kluzné vlastnosti, nepřítomnost statického náboje, nízká měrná hmotnost, vysoká přesnost tvaru, úzké rozměrové tolerance
- Elektrotechnika, elektronika – výborné izolační vlastnosti, vysoká dielektrická pevnost, velká stabilita výboje, vysoký výkon zhášení výboje, definovaná dielektrická konstanta, dobré vysokofrekvenční vlastnosti, dobré mechanické vlastnosti
- Fyzikální a chemické aplikace – chemická odolnost vůči kyselinám a louhům, chemická inertnost, odolnost vůči korozi a erozi, akumulární a pohlcovací schopnost, velký geometrický a měrný povrch, filtrační schopnosti
- Medicína – biologická slučitelnost, chemická inertnost a stabilita, filtrační schopnost
- Stavebnictví – odolnost vůči horku a mrazu, příjemnost na dotyk, hygienické vlastnosti, mechanická stabilita, plynotěsnost, chemická inertnost

Na požadavky konkrétních aplikací je možné jednotlivé vlastnosti keramik různě kombinovat a měnit. Této vlastnosti je využito zejména při výrobě řezných materiálů pro obrábění. Zde se s výhodou využívají následující vlastnosti těchto materiálů: [3]

- Vysoká tvrdost a také schopnost odolávat plastické deformaci
- Odolnost proti mechanickému namáhání především tlakem
- Odolávání vysokým teplotám u některých materiálů i tepelný rázům
- Vysoká chemická stabilita
- Odolnost proti opotřebení, chemickým vlivům a korozi
- Vysoká trvanlivost a řezivost
- Nízká měrná hmotnost

- Lehce dostupné základní suroviny
- Ekologická nezávadnost
- Poměrně příznivá cena

## 2.2 Použití řezné keramiky

Řeznou keramiku zařazujeme mezi velmi výkonné řezné materiály. Pro úspěšné zařazení do obrábění se požaduje dodržet určité zásady, aby bylo možné získat výhodné vlastnosti řezné keramiky a potlačit ty nevýhodné. Nejdůležitější jsou pro efektivní využití těchto materiálu následující předpoklady: [3]

- Vysoká tuhost systému stroj – nástroj – obrobek – přípravek (z důvodu zamezení jakéhokoli kmitání a tím nadměrného opotřebení břitu nástroje)
- Využití výkonných obráběcích strojů s velkým rozmezím použitelných posuvů a otáček s plynulou regulací, to nám umožní nastavení vysokých řezných rychlostí
- Výborný stav obráběcího stroje
- Zabezpečení stabilního a spolehlivého upnutí obrobku, z důvodu působení velkých odstředivých sil při použití vysokých otáček
- Ochrana obsluhy před odlétávajícími třískami zakrytváním pracovní části stroje
- Použití například slinutých karbidů k odstranění kůry z obrobku
- Výběr vhodného tvaru a velikosti břitové destičky
- Správná volba tvaru ostří břitové destičky – velikost a sklon negativní fazetky na čele
- Důvěra technologa a pracovníka u stroje k novým keramickým materiálům

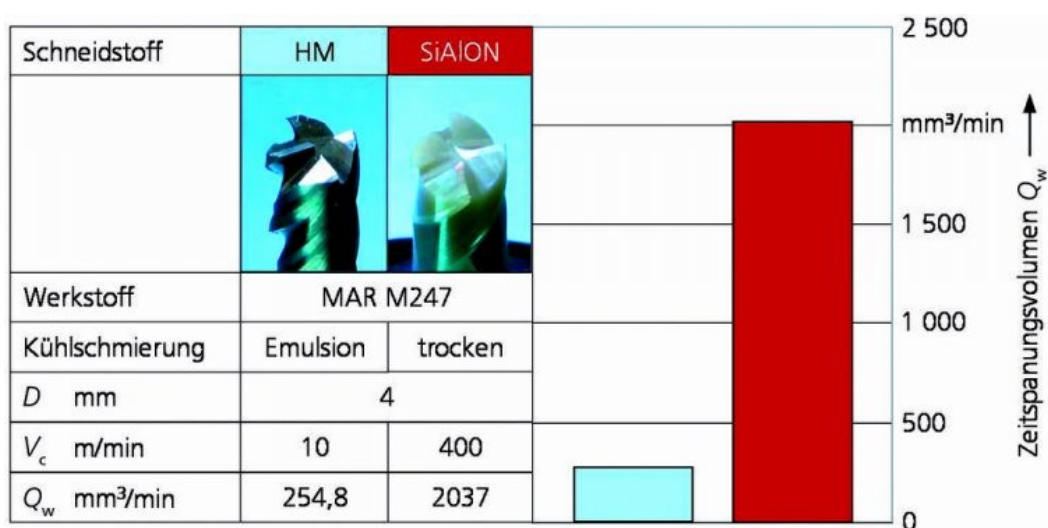
U keramických materiálů se požadují takové vlastnosti, aby s nimi mohly být obráběny součásti o vysoké pevnosti i za vysokých teplot. Proto je důležité, aby odolávaly vysokým teplotám, měly dobrou chemickou stabilitu a otěruvzdornost. U keramických materiálů není téměř možná plastická deformace, chybí jim tvárnost a houževnatost.

### 2.2.1 Soustružení

Podobně jako u slinutých karbidů uvádějí jednotliví výrobci doporučené řezné podmínky i pro soustružnické práce svých keramických břitových destiček. U keramických materiálů hraje velmi důležitou roli i otázka chlazení. U většiny druhů keramických vyměnitelných břitových destiček je chlazení chladicí kapalinou výslovně zakázáno. Pro obrábění tvrdých materiálů (kalené oceli, tvrzené litiny) keramickými destičkami je nutné volit poměrně nízké hodnoty hloubky řezu  $a_p$ . [2]

### 2.2.2 Frézování

V počátcích vývoje a výroby byly keramické řezné materiály doporučovány a používány výhradně pro obrábění nepřerušovaným řezem, tedy hlavně soustružení. Postupným vývojem keramických řezných materiálů a zlepšováním jejich mechanických vlastností nastala situace, že dnes je většina výrobců doporučuje i pro přerušované řezání, jako je frézování. Jednou ze základních podmínek pro použití při přerušovaném řezu je vysoká stabilita systému stroj nástroj obrobek, a tedy zamezení vzniku vibrací. Toho je možné úspěšně dosáhnout použitím frézovacích hlav osazených vyšším počtem břitů. [2] Dokonce jsou nyní vyvíjeny i monolitní keramické nástroje, díky kterým je možné zvýšit výkon obrábění oproti slinutým karbidům až osminásobně. Zatím byly použity materiály  $Al_2O_3$  a SiAlON, které byly vyztuženy siliciumcarbidoými whiskery, nutnost je obrábění za sucha. Při testech bylo možné bezpečně obrábět řeznými rychlostmi až  $600 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  při průměru frézy 4 a 8 mm. [8]



Obr. 2.2 Porovnání nástrojů ze slinutých karbidů a monolitních keramických nástrojů při frézování niklové slitiny MAR M247 [8]

Oblasti využití keramiky z hlediska materiálu destičky: [2]

- $\text{Al}_2\text{O}_3$  – Běžné soustružení, vrtání, drážkování litiny
- $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiCw}$  – Obrábění žáruvzdorných slitin. Hrubování a jemnění superslitin, oceli a litiny. Přerušovaný řez.
- $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$  – Soustružení tvrdé slitiny zušlechtěných ocelí do tvrdosti 64HRC na velmi jemný povrch. Běžné soustružení, vrtání a drážkování litiny. Dokončovací obrábění žáruvzdorných superslitin, litiny a oceli.
- $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$  – Soustružení šedé, tvárné a kujné litiny vytvrzené na 300 HB. Obrábění uhlíkové, legované a nástrojové oceli vytvrzené na 38 HRC.
- SiAlONy – Hrubé obrábění superslitin na bázi niklu pro letecké motory a pro použití v agresivním prostředí. Řezy vyžadující vysoký posuv. Rychlost nebo hloubku. Litina při vysokých rychlostech.
- $\text{Si}_3\text{N}_4$  – Hrubé soustružení a frézování litiny v těžkých podmínkách. Soustružení žáruvzdorných slitin na bázi niklu.

## 2.3 Rozdělení řezné keramiky

Keramické materiály jsou někdy děleny podle lomových vlastností do třech skupin: [3]

- Zcela křehké – při pokojové teplotě nejsou zcela schopny plastické deformace (například  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiC}$ ,  $\text{SiC}$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ )
- Křehké (polokřehké) – jsou schopny omezené plastické deformace (například  $\text{MgO}$ ,  $\text{ZrO}_2$ )
- Houževnaté – momentálně nelze zařadit žádný praktický materiál

Pro dělení a značení řezné keramiky neexistuje konkrétní norma, jako tomu je u slinutých karbidů nebo nástrojových ocelí, všeobecně je ale přijímáno následující dělení: [3]

Oxidická keramika (na bázi oxidu hlinitého)

- Čistá,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 99,5%, dle ČSN ISO 513 značeno CA
- polosměsná -  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{CoO}$ , symbol CA
- směsná -  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ti(C,N)}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{TiC}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC} + \text{TiN}$ , symbol CM

## Nitridová keramika

- $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{TiN}$ ; sialony

V současné době lze veškeré druhy keramiky vyrábět s vyztuženými vlákny whiskery SiC nebo s otěruvzdornými CVD nebo PVD povlaky, dále je možno vyrábět keramiku s diamantovým povlakem. Norma ČSN ISO 513 označuje povlakovanou keramiku symbolem CC. Nyní je možné na základě zlepšení fyzikálních a chemických vlastností z většinou jemného soustružení zaměřeného na litiny přecházet k soustružení a frézování prakticky všech materiálů na bázi železa tedy i ocelí a to jednak při dokončovacích operacích tak i hrubování a přerušovaném řezu, s možností využití procesních kapalin. [3]

### 3 Přehled zkoušek nástrojů při přerušovaném řezu

Zkoušky při přerušovaném řezu mají velký význam, jelikož je zde řezný materiál namáhán cyklicky mechanickými a tepelnými rázy. Vzhledem k cyklickému namáhání může docházet k porušení břitu lomem nebo vydrolením. V okamžiku vnikání břitu do obrobku dochází k nárůstu hlavní složky řezné síly, ta je závislá na čase plného vniknutí břitu do obrobku od prvního kontaktu nástroje s obrobkem. Vzájemná poloha nástroje a obrobku ovlivňuje dobu vnikání. Menší nárůst řezné síly zajistíme pozvolným vnikáním břitu do obrobku. Při vniknutí nástroje do obrobku je nástroj ohříván a mimo záběr se břit ochlazuje, to má za následek vznik střídavého tahového a tlakového napětí povrchových vrstev destiček. Pravidelné změny napětí mohou zapříčinit vznik trhlinek v oblasti ostří, to může mít za následek křehké porušení břitu. [10]

Rozdělení metod:

- Zkouška při podélném soustružení (lišťový test)
- Zkouška při podélném soustružení s drážkami
- Zkouška při příčném soustružení (čepový test)
- Zkouška při frézování
- Zkouška vodorovným obrážením

#### 3.1 Zkouška při podélném soustružení (lišťový test)

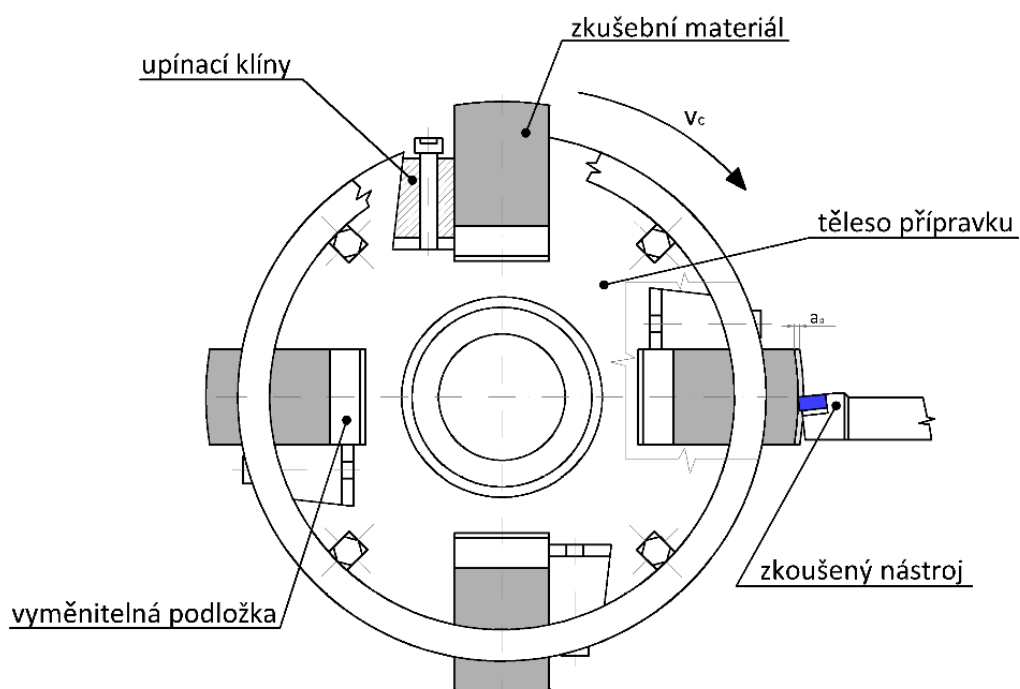
Zkouška, která se provádí za pomoci speciálního přípravku upnutého do sklíčidla soustruhu a podepřeného upraveným hrotem. V přípravku jsou upnuty 4 podélné lišty, které jsou zajištěny pomocí upínacích klínů. Výhodou je, že po celou dobu testu se nemění průměr obrobku, jelikož je možné lišty během testu vysunovat. Tento přípravek byl zhotoven v laboratořích Katedry obrábění a montáže VŠB-TUO v rámci řešení grantového projektu GAČR č. 101/93/0129. Původně byl přípravek konstruován pro řeznou rychlost v rozmezí  $v_c = 120 - 400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , což odpovídá rozmezí použití slinutých karbidů a spodní hodnoty pro použití řezné keramiky. Z důvodu zkoušek při vyšších řezných rychlostech je potřeba přípravek vyvážit k zamezení vibrací a vzhledem k vysokým odstředivým silám je nutno dobře zajistit lišty proti uvolnění.





Obr. 3.1 Simulátor přerušovaného řezu v průběhu výměny lišt

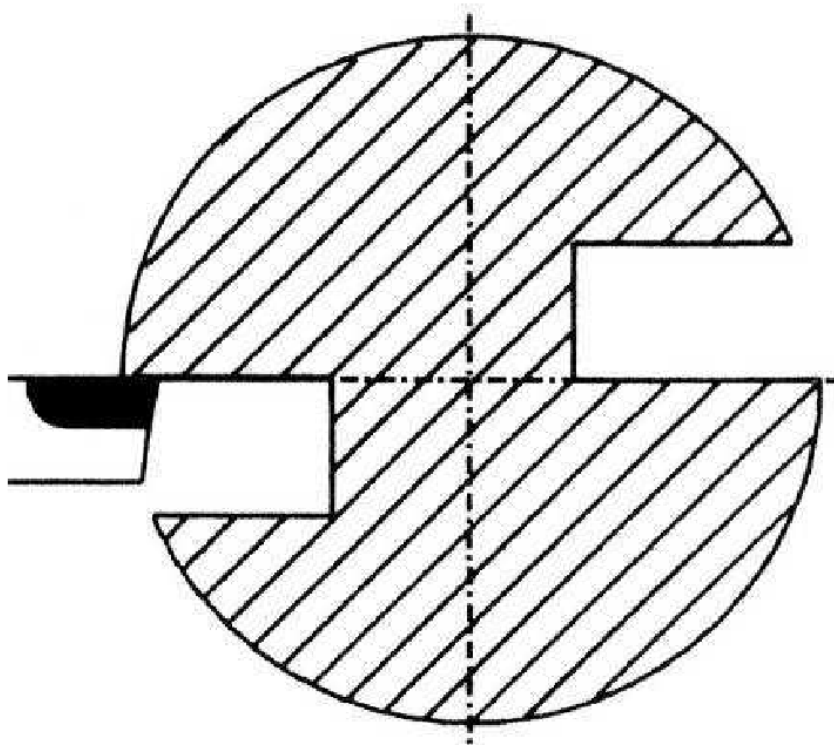
Při testování se nástroj posouvá od koníku směrem ke sklíčidlu soustruhu. Břit zkoušeného materiálu je během jedné otáčky vystaven 4 mechanickým rázům při vnikání do obrobku a v době, kdy břit není v záběru, dochází k chladnutí destičky. Při tomto testu převažuje doba chladnutí nad řezem. V době vnikání břitu do obrobku je úhel záběru po celou dobu konstantní a velikost mechanického rázu se tedy nemění. [1]



Obr. 3.2 Schéma přípravku pro lištový test [5]

### 3.2 Zkouška při podélném soustružení s drážkami

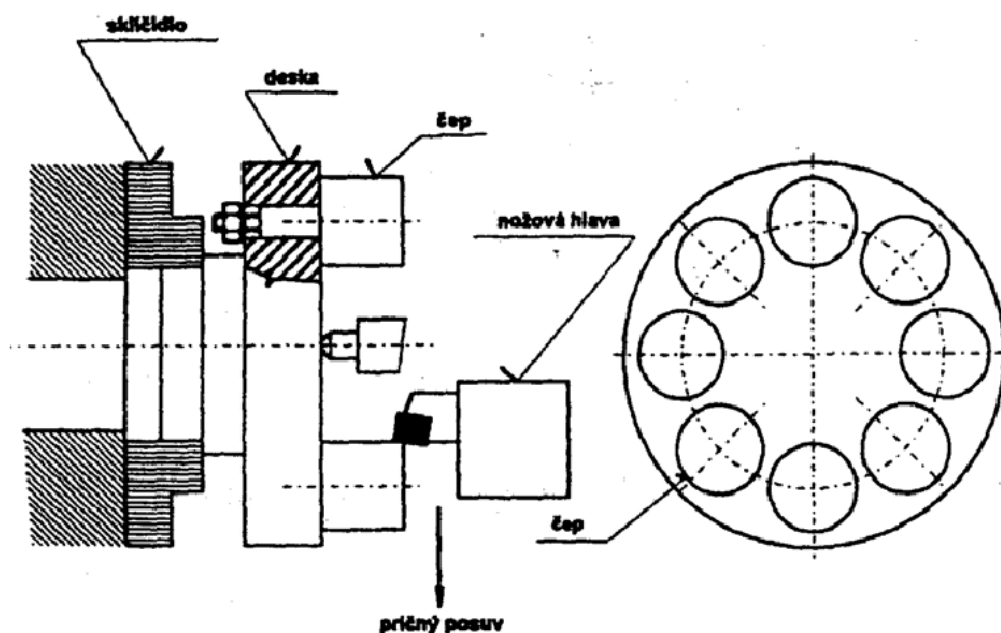
Zkouška je prováděna na válci s podélně vyfrézovanými drážkami (viz obr. 3.2), které bývají zpravidla dvě, ale je možno jich vytvořit i více. Průběhu jedné otáčky je zpravidla nástroj vystaven dvěma mechanickým rázům. V průběhu provádění testu je z válce odebírán materiál a to má za následek změnu obráběného průměru a tím i změnu řezné rychlosti. Z tohoto důvodu je také vhodné při následujícím testu zvýšit otáčky vřetene. V tomto testu převažuje doba kdy je nástroj v řezu, z tohoto důvodu je tedy nástroj po kratší dobu ochlazován než v předchozím testu s lištami. Z čehož vyplývá, že dochází k menšímu kolísání teploty nástroje a tím pádem i k možnosti vzniku trhlin.[8] Tato zkouška je finančně náročnější než zkouška lištová, vzhledem k větší spotřebě odebíraného materiálu a také nutnosti mít celý válec ze zkoušeného materiálu.



Obr. 3.3 Schéma testu při soustružení s drážkami [5]

### 3.3 Zkouška při příčném soustružení (čepový test)

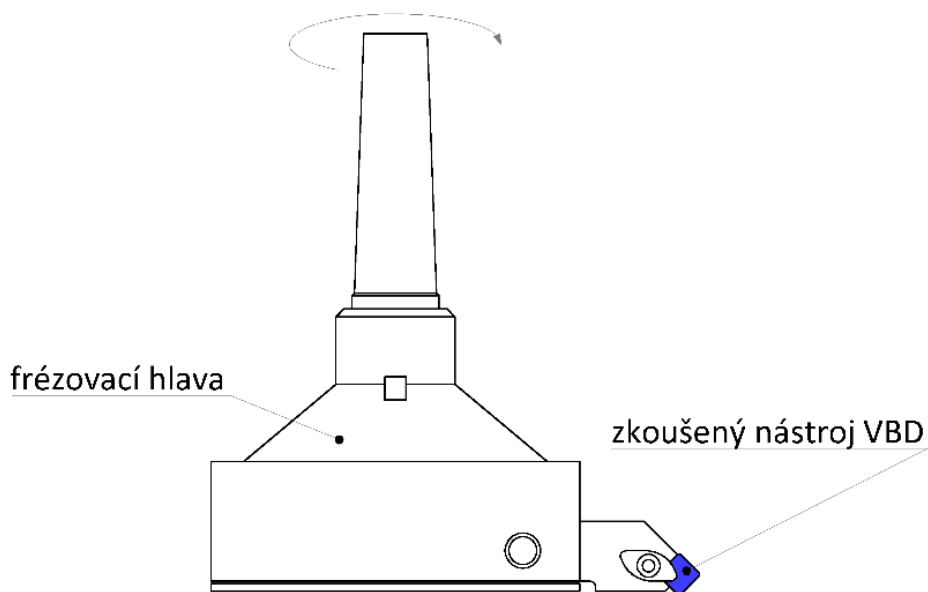
Tato zkouška je založena na čelním soustružení desky upnuté do sklíčidla soustruhu. Na desce je připevněno obvykle 8 válcových čepů. Nástroj je během jedné otáčky vystaven osmi mechanickým a teplotním rázům. Během testu se nástroj pohybuje od středu přípravku směrem k obvodu. Nevýhodou této zkoušky je potřeba soustruhu s plynulou regulací otáček, protože při použití konstantních otáček se zvyšuje řezná rychlost při pohybu nástroje směrem od osy obrobku ke kraji. Oproti podélnému soustružení je zde nástroj vystaven proměnlivé délce doby řezání a ochlazování. Z tohoto důvodu je nástroj během soustružení jedné vrstvy vystavován proměnlivým teplotním rázům. [1]



Obr. 3.4 Schéma testu při příčném soustružení [1]

### 3.4 Zkouška při frézování

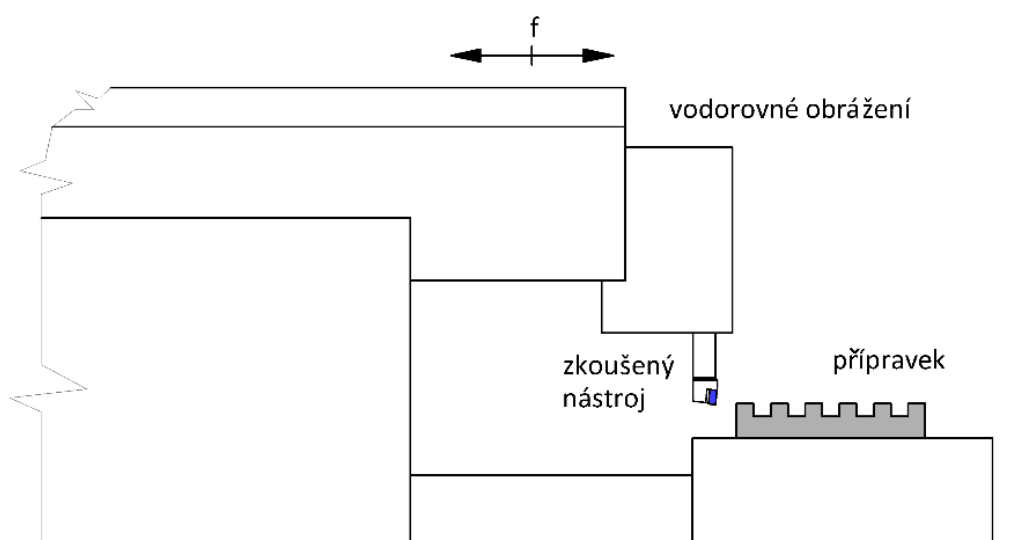
Tato zkouška je založena na frézování přípravku, který je složen z několika desek. Mezi deskami je upnuta nižší deska, která zajišťuje mezeru. Na nástroji je upnuta jedna břitová destička, která za jednu otáčku je vystavena stejnému počtu rázů, jako je množství desek. Úhel záběru zde dosahuje pozitivních i negativních hodnot. Doporučuje se určování indexu relativně porovnáním s etalonovým materiálem. [8]



Obr. 3.5 Schéma zkoušky při frézování [5]

### 3.5 Zkouška vodorovným obrážením

Zkouška spočívá v přímočarém pohybu nástroje, který naráží na přípravek, který může být složen z desek jako v předchozím případě. Jedná se zde o nižší oblast rezných rychlostí než v předešlých případech. Menší tuhost obrážky zvyšuje chvění při testu, což je nevýhodné. [5]



Obr. 3.6 Schéma zkoušky při vodorovném obrážení [5]

## 4 Experimentální testování nástrojů

Z testů popsaných v předcházející kapitole byla pro experimentální testování nástrojů vybrána zkouška při podélném soustružení tzv. lištový test. Test byl vybrán, protože přípravek byl již vyroben a zkonstruován na katedře obrábění a montáže. Další důvod výběru byla menší materiálová spotřeba a větší tepelné rázy, které působí na destičku oproti testu s drážkami. U vybraného testu je tedy destička více namáhána na teplotní rázy.

### 4.1 Zkoušené keramické destičky, nástrojový držák

Pro testy byly vybrány dva druhy destiček od firmy Greenleaf a to GEM-7 a WG-300 s tvarem destiček SNGN. Upnuty byly do nástrojového držáku CSRNR 25x25 M12-K.



Obr. 4.1 Použité destičky WG-300 (vlevo) a GEM7 (vpravo)

Geometrie pro použitý nástroj:

- |                                 |                            |
|---------------------------------|----------------------------|
| - ortogonální úhel hřbetu       | $\alpha_o = 6^\circ$       |
| - ortogonální úhel čela         | $\gamma_o = -6^\circ$      |
| - úhel sklonu ostří             | $\lambda_s = -6^\circ$     |
| - úhel nastavení hlavního ostří | $\kappa_r = 75^\circ$      |
| - úhel špičky                   | $\varepsilon_r = 90^\circ$ |



Obr. 4.2 Nástrojový držák s upnutou destičkou

Destičky WG-300 jsou keramické destičky vyztužené whiskerovými vlákny s dobrou odolností opotřebení a nárazům. Při obrábění slitin založených na niklu a kobaltu a dalších super slitin s vysokou tvrdostí jsou velice účinné a mají až 10x vyšší rychlost úběru kovu.

Destičky GEM-7 jsou vyrobeny z kompozitní keramiky  $\text{Al}_2\text{O}_3$  s příměsí TiC s vysokou předvídatelností při soustružení a obrábění tvrdých slitin až do 65 R/C.

## 4.2 Materiál použitých lišt

Pro zkoušení keramických destiček byl zvolen obráběný materiál uhlíková ocel k zušlechťování C45 s ekvivalentním označením dle ČSN 12 050. Ocel se řadí do referenční třídy obrobiteľnosti 14b. Použití tohoto materiálu je ve středně namáhaných strojních součástech automobilů, železničních vozů, strojů, motorů nebo řetězových koleček u motocyklů.

tab. 4.1 Chemické složení oceli C45 [hm %]

| C             | Si           | Mn            | P            | S            | Cr          | Mo          | Ni          | Cr+Mo+Ni |
|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| 0,42-<br>0,50 | max.<br>0,40 | 0,50-<br>0,80 | Max<br>0,045 | Max<br>0,045 | Max<br>0,40 | Max<br>0,10 | Max<br>0,50 | Max 0,63 |



tab. 4.2 Mechanické vlastnosti oceli C45

| Mez kluzu $R_p 0,2$ [MPa] | Mez pevnosti $R_m$ [MPa] | Tažnost $A_5$ [%] |
|---------------------------|--------------------------|-------------------|
| 305                       | 580                      | 16                |

### 4.3 Použitý soustruh

Jako soustruh pro provádění experimentů byl zvolen univerzální soustruh značky ZMM Sliven bulharské výroby, jelikož je pro průběh zkoušek dostačující jak výkonem, tak i tuhostí.



Obr. 4.3 Použitý soustruh při experimentech

### 4.3 Řezné parametry

Každá řezná destička byla vystavena dvěma testům, každý z jiné strany destičky. Při testu bylo obráběno dvěma řeznými rychlostmi a čtyřmi druhy posuvů. Celkem tedy bylo provedeno osm testů na jednom druhu destičky. Hloubka řezu byla po celou dobu testu konstantní a to 1 mm.

tab. 4.3 Řezné rychlosti a použité posuvy při testu

| Řezná rychlost<br>[m/min] | Otáčky<br>[ $\text{min}^{-1}$ ] | Použitý posuv<br>[mm] |      |      |      |
|---------------------------|---------------------------------|-----------------------|------|------|------|
| 408                       | 500                             | 0,15                  | 0,20 | 0,25 | 0,30 |
| 580                       | 710                             | 0,15                  | 0,20 | 0,25 | 0,30 |

## 4.5 Mezní počet rázů

Jako kritická hodnota byla nastavena 6000 rázů na jednu hranu destičky. Pomocí níže uvedeného vztahu byla určena délka, po které je test zastaven. Destičku, která tuto délku vydrží, lze považovat za velice odolnou proti přerušovanému řezu.

$$R = \frac{4 \cdot l}{f}$$

kde: R.....počet rázů

l.....obrobená délka

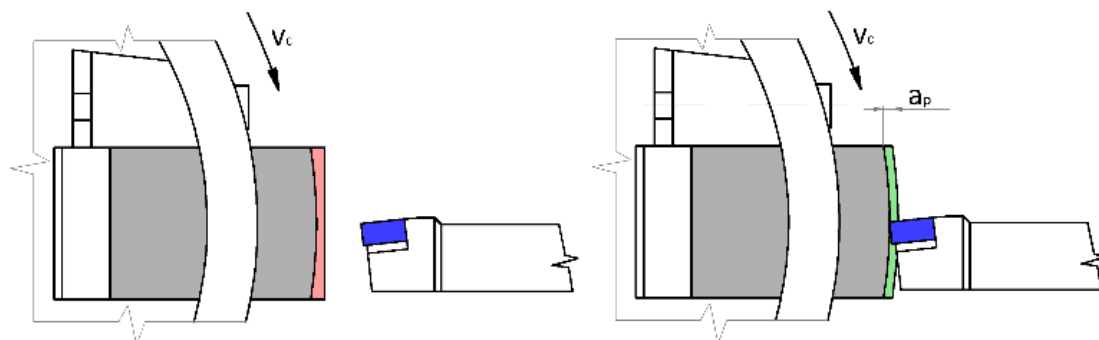
f.....posuv

tab. 4.4 Délka soustružení při zvoleném posuvu

| f [mm] | l [mm] | R [-] |
|--------|--------|-------|
| 0,15   | 225    | 6000  |
| 0,20   | 300    | 6000  |
| 0,25   | 375    | 6000  |
| 0,30   | 450    | 6000  |

## 4.6 Příprava simulátoru před měřením

Před vlastním testováním destiček bylo potřeba upnout přípravek do soustruhu, podepřít koníkem a vyměnit lišty v simulátoru přerušovaného řezu. Lišty dále musely být zajištěny pomocí klínovitých čelistí zajištěnými podložkami, proti vysokým odstředivým silám v průběhu obrábění. Po výměně lišt je potřeba zarovnání lišt pomocí destičky ze slinutého karbidu, aby byla v průběhu testu dosažena konstantní hloubka řezu 1 mm.



Obr. 4.4 Úprava lišt před měřením [5]



## 5 Vyhodnocení testů

### 5.1 Vyhodnocovací zařízení

Vyhodnocování jednotlivých destiček z řezné keramiky bylo prováděno na mikroskopu Intracomicro vybaveného digitální kamerou pro přenos fotografií do počítače. Pro uložení fotografií byl použit software Import5. Každá vyhodnocovaná destička byla vyfocena z čela i hřbetu pro názornost opotřebení.



Obr. 5.1 Použitý mikroskop Intramicro

### 5.2 Vyhodnocení VBD WG-300

Destičky typu WG-300 byly zkoušeny při dvou řezných rychlostech a čtyřech velikostech posuvů dle tab.4.3. Sledována byla osoustružená délka. Pokud byla dosažena kritická délka, test byl zastaven, v opačném případě je dopočítán počet dosažených rázů. Výsledky uvedeny v tab. 5.1 a 5.2 jsou zprůměrované hodnoty ze tří nezávislých měření.

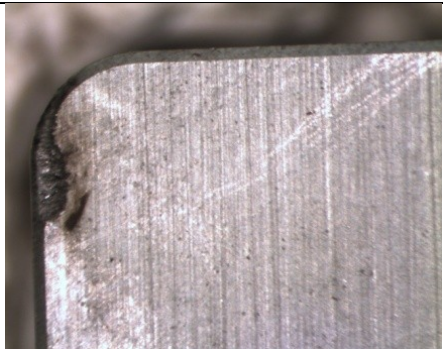



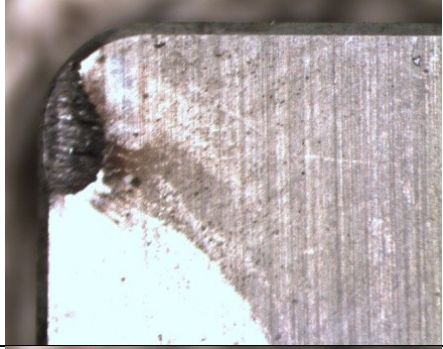



tab. 5.1 Výsledky testu při  $v_{cl} = 408$  m/min

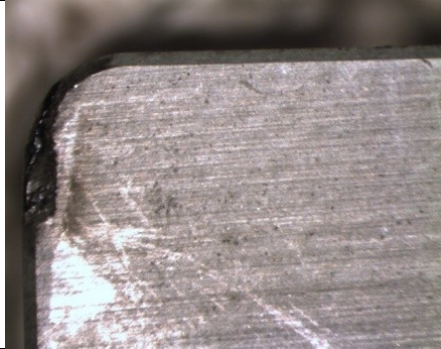

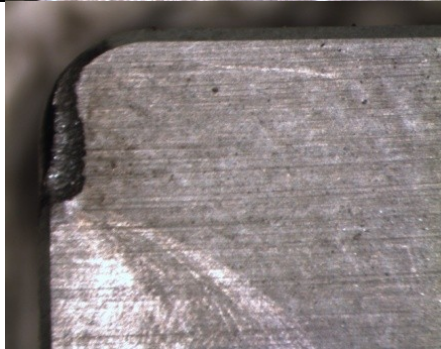
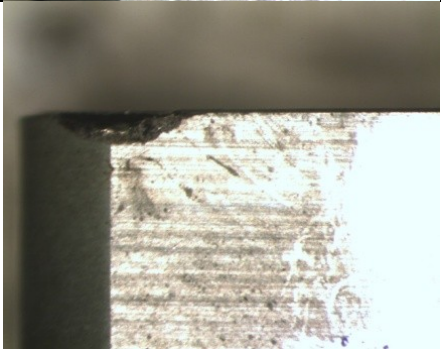
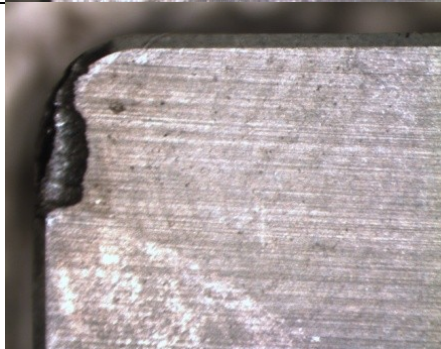

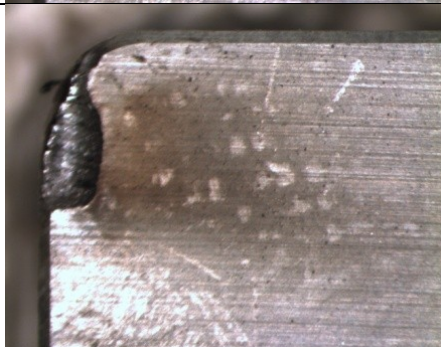

| WG-300 při $v_{cl} = 408$ m/min |        |        |       |
|---------------------------------|--------|--------|-------|
| Označení hrany                  | f [mm] | l [mm] | R [-] |
| 5'                              | 0,15   | 225    | 6000  |
| 5''                             | 0,20   | 300    | 6000  |
| 6'                              | 0,25   | 375    | 6000  |
| 6''                             | 0,30   | 450    | 6000  |

tab. 5.2 Výsledky testu při  $v_{c2} = 580$  m/min

| WG-300 při $v_{c2} = 580$ m/min |        |        |       |
|---------------------------------|--------|--------|-------|
| Označení hrany                  | f [mm] | l [mm] | R [-] |
| 7'                              | 0,15   | 50     | 1333  |
| 7''                             | 0,20   | 65     | 1300  |
| 8'                              | 0,25   | 80     | 1280  |
| 8''                             | 0,30   | 105    | 1400  |

tab. 5.3 Snímky destiček

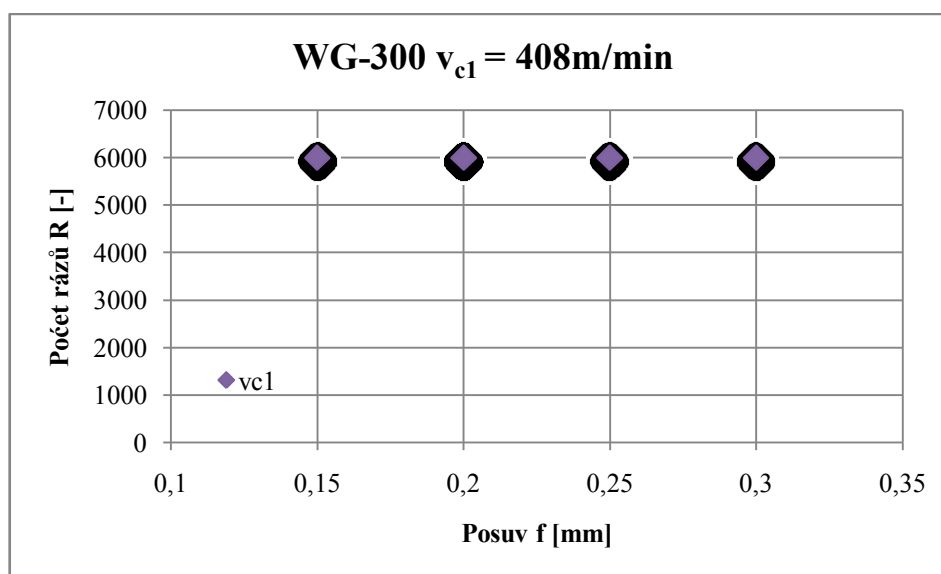
| Destička  | Čelo nástroje   | Hřbet nástroje   |
|---|---|--|
| WG- 300 – 5'<br>$v_c = 408$ m/min<br>$f = 0,15$ mm<br>$R = 6000$  |   |   |
| WG- 300 – 5''<br>$v_c = 408$ m/min<br>$f = 0,20$ mm<br>$R = 6000$ |  |  |
| WG- 300 – 6'<br>$v_c = 408$ m/min<br>$f = 0,25$ mm<br>$R = 6000$  |  |  |
| WG- 300 – 6''<br>$v_c = 408$ m/min<br>$f = 0,30$ mm<br>$R = 6000$ |  |  |

|   |   |  |
|---|---|--|
| <p>WG- 300 – 7'</p> <p><math>v_c = 580 \text{ m/min}</math></p> <p><math>f = 0,15 \text{ mm}</math></p> <p><math>R = 1333</math></p>  |    |    |
| <p>WG- 300 – 7''</p> <p><math>v_c = 580 \text{ m/min}</math></p> <p><math>f = 0,20 \text{ mm}</math></p> <p><math>R = 1300</math></p> |    |    |
| <p>WG- 300 – 8'</p> <p><math>v_c = 580 \text{ m/min}</math></p> <p><math>f = 0,25 \text{ mm}</math></p> <p><math>R = 1280</math></p>  |   |   |
| <p>WG- 300 – 8''</p> <p><math>v_c = 580 \text{ m/min}</math></p> <p><math>f = 0,30 \text{ mm}</math></p> <p><math>R = 1400</math></p> |  |  |



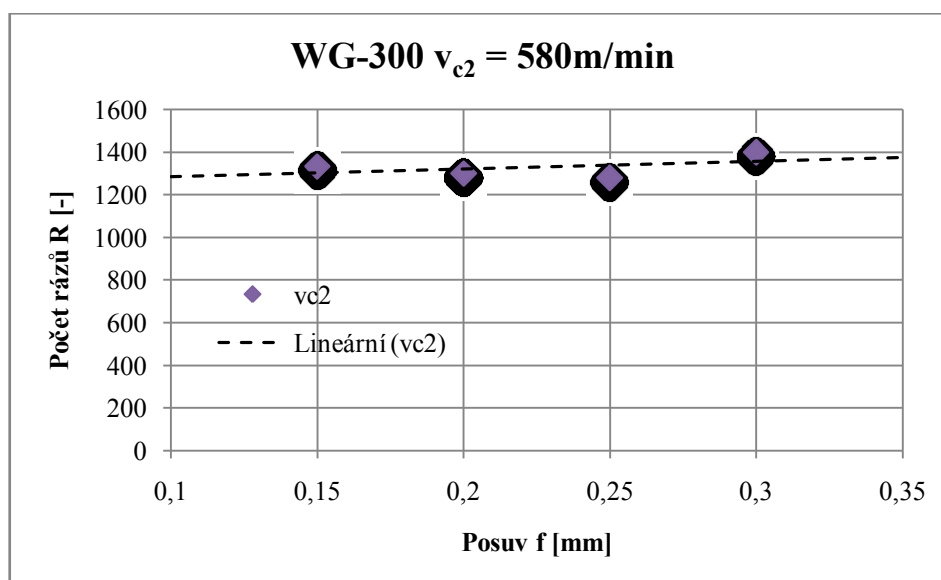
### 5.2.1 Grafické vyhodnocení VBD WG-300

Z následujícího grafu lze vyčíst, že typ destiček WG-300 dosáhl při všech posuvech stanovenou mez 6000. Dle fotografií opotřebení destiček (viz tab. 5.3) lze vidět, že opotřebení při posuvu 0,15 mm je nejmenší a postupně se zvyšuje. Dalo by se říct, že při nižší řezné rychlosti  $v_{c1}$  a posuvu 0,15 mm by destička mohla vydržet nejvíce rázů až do úplného opotřebení. Z fotografií je také patrné, že u typu destičky WG-300 a nižší řezné rychlosti dochází k opotřebení ve tvaru žlábků na čele při všech posuvech. U posuvu 0,3 mm je toto opotřebení největší. Na hřbetě nástroje nedochází dle fotografií k vážnějšímu opotřebení.



Obr. 5.2 Graf závislosti posuvu a počtu rázů při  $v_{c1} = 408 \text{ m/min}$

Při vyšší řezné rychlosti  $v_{c2} = 580 \text{ m/min}$  se počet rázů, které byla destička schopna vydržet, prudce snížil a nepřesáhl hodnotu 1400 rázů. U posuvu 0,15 mm byl počet rázů na destičku 1333. Dále postupně pomalu počet rázů lehce klesal, výjimka byla akorát při hodnotě posuvu 0,30 mm, kde počet rázů mírně vzrostl na hodnotu 1400 rázů, jak lze pozorovat na následujícím grafu. Opotřebení na čele nástroje je dle fotografií stejného typu jako při nižší řezné rychlosti a to ve tvaru žlábků. Ten se také s rostoucím posuvem zvětšuje. Destička oproti nižší řezné rychlosti vykazuje také opotřebení i na hřbetě nástroje. U posuvů 0,15 mm a 0,30 mm je toto opotřebení zhruba stejné a také z použitých posuvů největší.



Obr. 5.3 Graf závislosti posuvu a počtu rázů  $v_{c2} = 580 \text{ m/min}$

### 5.3 Vyhodnocení VBD GEM7

Stejně jako u destičky WG-300 byl sledován limitní počet rázů, které destička dosáhla. Opět byl tento limit stanoven na 6000 rázů nebo do zničení destičky a byl vypočten počet rázů, které destička vydržela. Výsledky testu uvedeny v tab. 5.1 a 5.2 jsou zprůměrované hodnoty ze tří nezávislých měření.






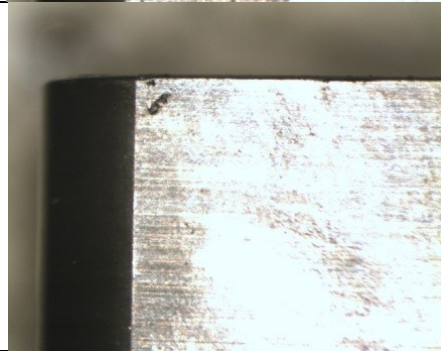
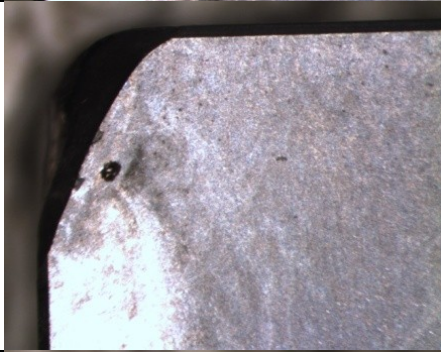
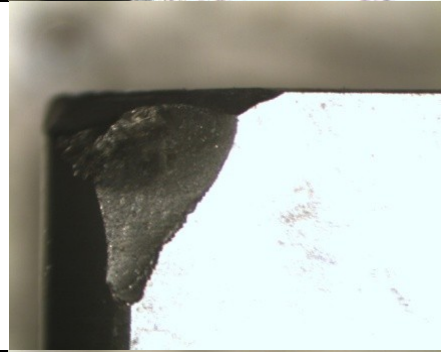

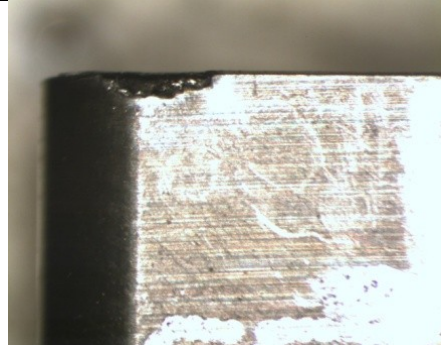
tab. 5.4 Výsledky testu při  $v_{c1} = 408 \text{ m/min}$

| GEM7 při $v_{c1} = 408 \text{ m/min}$ |          |          |         |
|---------------------------------------|----------|----------|---------|
| Označení hrany                        | $f$ [mm] | $l$ [mm] | $R$ [-] |
| 5'                                    | 0,15     | 225      | 6000    |
| 5''                                   | 0,20     | 300      | 6000    |
| 6'                                    | 0,25     | 375      | 6000    |
| 6''                                   | 0,30     | 310      | 4133    |


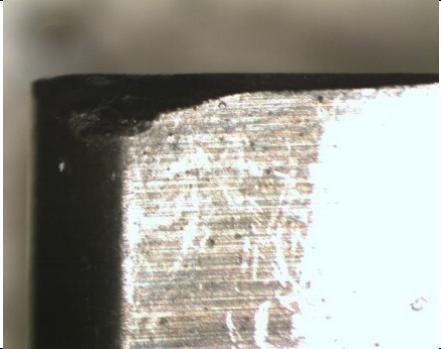


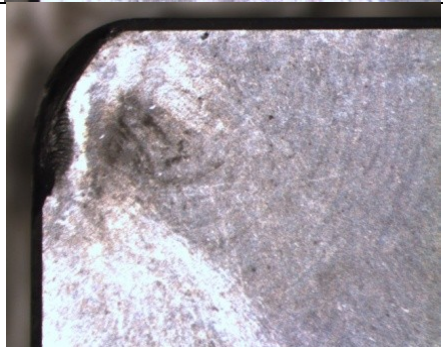

tab. 5.5 Výsledky testu při  $v_{c2} = 580 \text{ m/min}$

| GEM7 při $v_{c2} = 580 \text{ m/min}$ |          |          |         |
|---------------------------------------|----------|----------|---------|
| Označení hrany                        | $f$ [mm] | $l$ [mm] | $R$ [-] |
| 7'                                    | 0,15     | 210      | 5600    |
| 7''                                   | 0,20     | 160      | 3200    |
| 8'                                    | 0,25     | 195      | 3120    |
| 8''                                   | 0,30     | 75       | 1000    |

tab. 5.6 Snímky opotřebení destiček

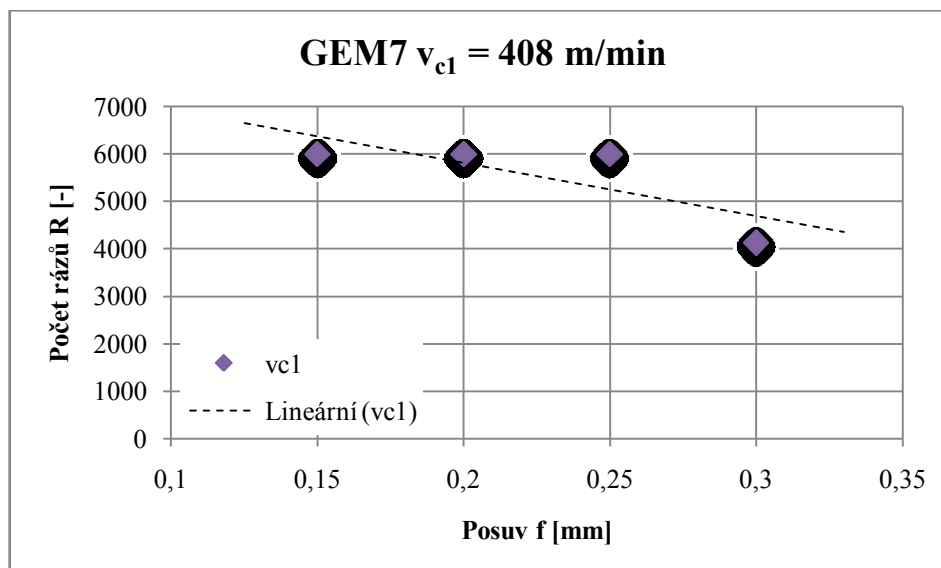
| Destička   | Čelo nástroje   | Hřbet nástroje   |
|--|---|--|
| GEM7 – 5'<br>$v_c = 408 \text{ m/min}$<br>$f = 0,15 \text{ mm}$<br>$R = 6000$  |    |    |
| GEM7 – 5''<br>$v_c = 408 \text{ m/min}$<br>$f = 0,20 \text{ mm}$<br>$R = 6000$ |    |    |
| GEM7 – 6'<br>$v_c = 408 \text{ m/min}$<br>$f = 0,25 \text{ mm}$<br>$R = 6000$  |   |   |
| GEM7 – 6''<br>$v_c = 408 \text{ m/min}$<br>$f = 0,30 \text{ mm}$<br>$R = 4133$ |  |  |
| GEM7 – 7'<br>$v_c = 580 \text{ m/min}$<br>$f = 0,15 \text{ mm}$<br>$R = 5600$  |  |  |



|  |  |  |
|--|--|--|
| <p>GEM7 – 7''</p> <p><math>v_c = 580 \text{ m/min}</math></p> <p><math>f = 0,20 \text{ mm}</math></p> <p><math>R = 3200</math></p> |   |   |
| <p>GEM7 – 8'</p> <p><math>v_c = 580 \text{ m/min}</math></p> <p><math>f = 0,25 \text{ mm}</math></p> <p><math>R = 3120</math></p>  |   |   |
| <p>GEM7 – 8''</p> <p><math>v_c = 580 \text{ m/min}</math></p> <p><math>f = 0,30 \text{ mm}</math></p> <p><math>R = 1000</math></p> |  |  |

### 5.3.1 Grafické vyhodnocení GEM7

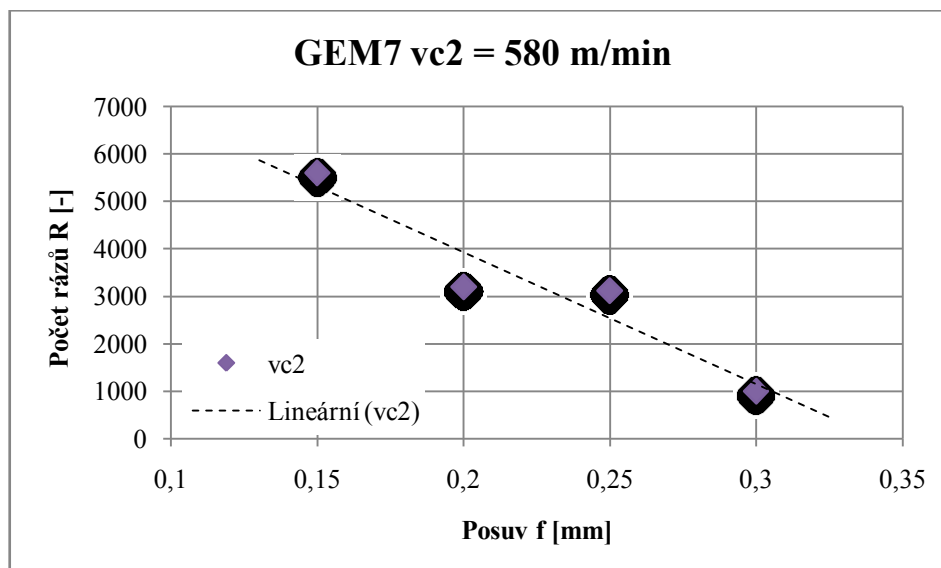
Destička typu GEM7 vydržela limitních 6000 rázů při rychlosti 408 m/min při posuvech 0,15 mm, 0,20 mm a 0,25 mm. Při zhodnocení opotřebení dle fotografií (viz. tab. 5.6) u posuvu 0,15 mm a 0,20 mm není znatelné téměř žádné opotřebení. U posuvu 0,25 mm lze vidět mírné opotřebení na čele nástroje. Výjimku tvořil pouze posuv 0,3 mm, kde byl počet rázů, které destička vydržela roven hodnotě 4133. Při pohledu na fotografie opotřebení lze vidět, že u této hodnoty posuvu došlo na destičce k lomu bříty nástroje. Vzhledem k tomu, že toto byl jediný případ takového lomu za celý test, tak usuzují, že destičku GEM7 není vhodné použít při těchto parametrech soustružení při přerušovaném řezu.



Obr. 5.4 Graf závislosti posuvu a počtu rázů  $v_{c1} = 408$  m/min

Během testu s řeznou rychlostí  $v_{c2} = 580$  m/min nevydržela destička při jakékoli hodnotě posuvu limitních 6000 rázů. Doba výdrže postupně klesala dle následujícího grafu. Největší výdrže bylo dosaženo při posuvu 0,15 mm a to hodnoty 5600 rázů. Destička dle fotografií dosahuje opotřebení jak na čele ve tvaru vrubu, tak i opotřebení hřbetu nástroje. U posuvu 0,2 mm počet rázů oproti předchozímu prudce klesl na hodnotu 3200 rázů. Opotřebení je především na hřbetu nástroje. Na čele destičky se nejeví nějak výrazné opotřebení. Podobného počtu rázů bylo dosaženo i při posuvu 0,25 mm a to hodnoty 3120 rázů. U opotřebení destičky tomu bylo ale trochu jinak. Na čele nástroje došlo k opotřebení ve tvaru vrubu. U hřbetu nástroje došlo jako v předchozím případě také k opotřebení, ale bylo větší. Také je na fotografiích patrný lehký lom břitů nástroje. V případě použití posuvu 0,3 mm počet rázů prudce klesl na hodnotu 1000 rázů. Při zhodnocení opotřebení dle fotografií zde došlo k mírnému lomu břitů nástroje. Patrné jsou také lehké známky opotřebení ve tvaru vrubu na čele. Vzhledem k nízkému počtu rázu, které destička vydržela, není vhodné použití těchto parametrů při přerušovaném řezu.

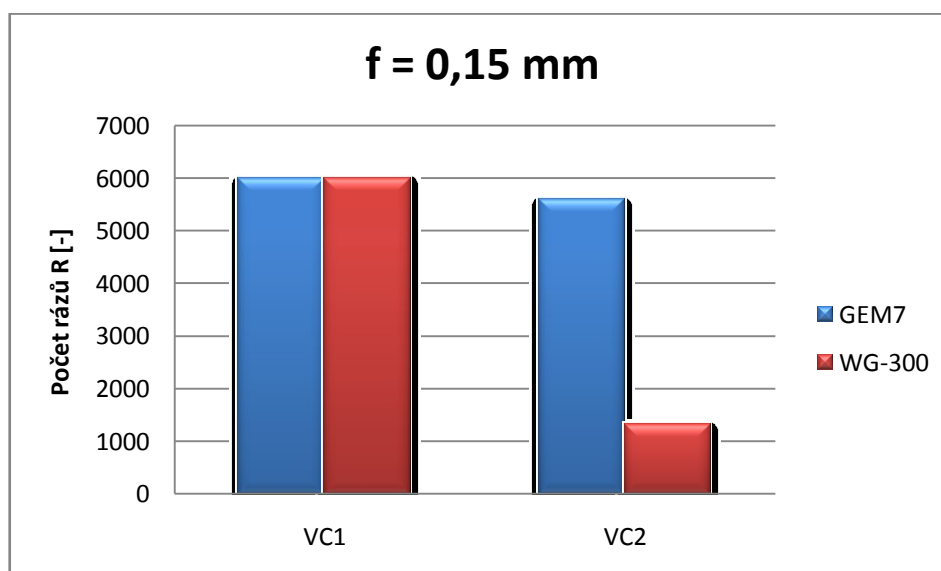




Obr. 5.5 Graf závislosti posuvu a počtu rázů  $v_{c2} = 580$  m/min

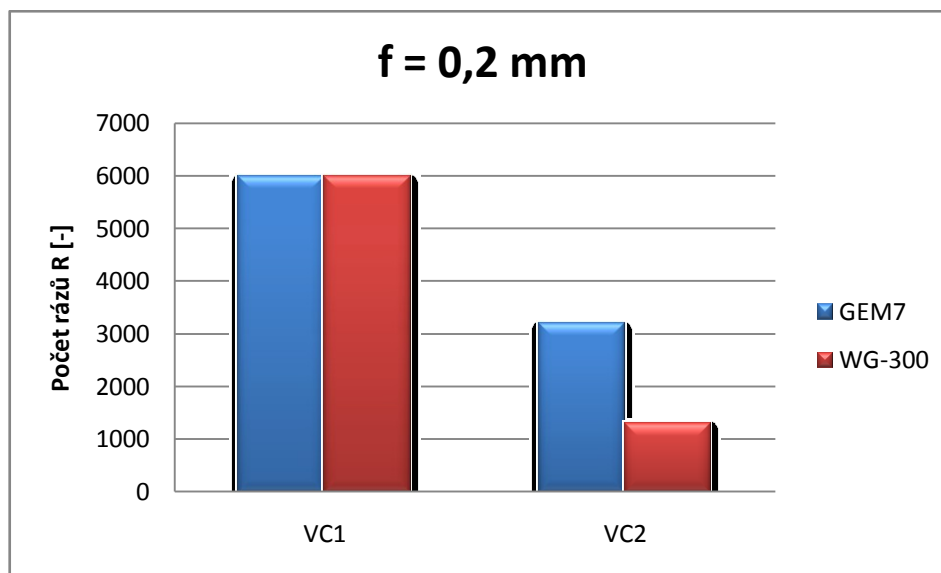
### 5.3 Grafické porovnání VBD

Při posuvu 0,15 mm a řezné rychlosti 408 m/min obě destičky vydržely limitní počet rázů. Při zvýšení řezné rychlosti u destičky typu WG-300 prudce klesl počet rázů, kterým byla schopna odolat. WG-300 vydržela pouze 1333 rázů. GEM7 byla naopak při vyšší řezné rychlosti a posuvu 0,15 mm výrazně odolnější a vydržela 5600 rázů. Tato hodnota není výrazně nižší než stanovených 6000 rázů. Výhodněji se jeví tedy typ GEM7 při těchto parametrech.



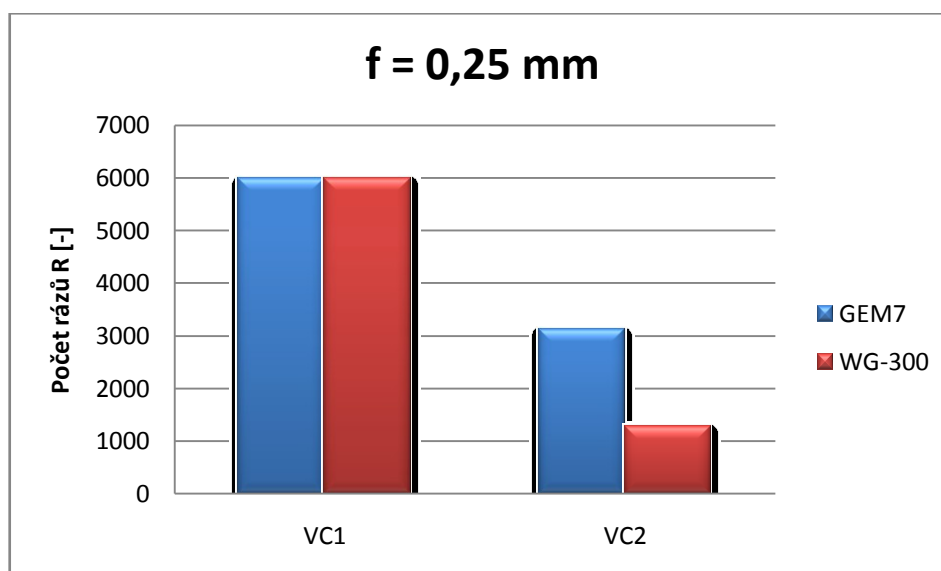
Obr. 5.6 Graf závislosti řezné rychlosti a počtu rázů při  $f = 0,15$  mm

Z následujícího grafu je zřejmé, že při nižší řezné rychlosti destičky obstály 6000 rázů. Při zvýšení řezné rychlosti už je situace poněkud jiná. Počet rázů klesl i u destičky typu GEM7. Počet rázů, které vydržela byl 3200, což je o 3400 rázů méně než u nižšího posuvu 0,15 mm. Pořád se ale jeví tato destička jako lépe použitelná při vyšší řezné rychlosti oproti typu WG-300. Tento typ destičky vydržel pouhých 1300 rázů. Tato hodnota je velice podobná počtu rázů jako u posuvu 0,15 mm



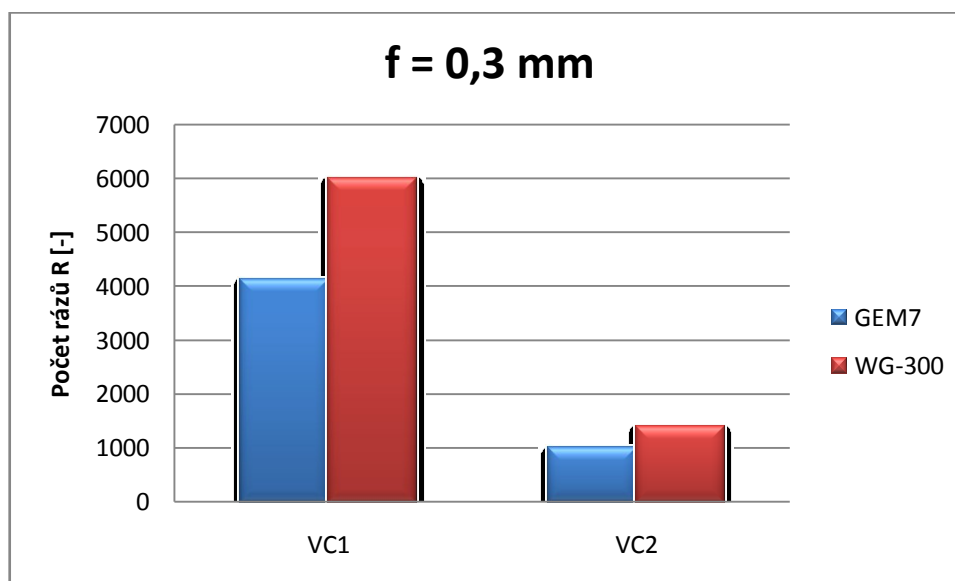
Obr. 5.6 Graf řezné rychlosti a počtu rázů při  $f = 0,20$  mm

Při posuvu 0,25 mm jsou výsledky velice podobné jak při posuvu 0,2 mm a liší se jen nepatrně. Při nižší řezné rychlosti 408 m/min opět vydržely destičky limitní počet rázů. U vyšší řezné rychlosti 580 m/min destička typu WG-300 vydržela 1280 rázů. Oproti předchozímu případu je to o 20 rázů méně. Destička GEM7 se také při těchto parametrech soustružení jeví výhodnější. Vydržela 3120 rázů a oproti posuvu 0,20 mm se liší pouze o 80 rázů.



Obr. 5.6 Graf řezné rychlosti a počtu rázů při  $f = 0,25$  mm

Při zvýšení posuvu na hodnotu 0,3 mm se počet rázů u destičky GEM7 snížil při obou řezných rychlostech. U nižší řezné rychlosti  $v_{c1} = 408$  m/min počet rázů klesl na hodnotu 4133, což je o 1867 rázů méně jak v předchozím případě. Vyšší řezná rychlost  $v_{c2} = 580$  m/min znamenala také výrazné snížení počtu rázů oproti posuvu 0,25 mm, na hodnotu 1000 rázů. Destička WG-300 naopak dosáhla při nižší řezné rychlosti limitního počtu 6000 rázů. Při zvýšení řezné rychlosti již obstála výrazně menší počet rázů a to 1400 rázů, což je o 120 rázů dokonce více než u předchozího posuvu 0,25 mm. Při použití tohoto posuvu se naopak jeví lépe destička WG-300 při obou řezných rychlostech.



Obr. 5.6 Graf řezné rychlosti a počtu rázů při  $f = 0,30$  mm

## Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo testovat vyměnitelné břitové destičky z řezné keramiky od firmy Greenleaf na simulátoru přerušovaného řezu. Testovány byly dva druhy destiček a to WG-300 a GEM7. Destičky byly zkoušeny při podélném soustružení na simulátoru přerušovaného řezu složeného z lišt, zhotoveném na Katedře obrábění a montáže VŠB-TUO. Jako obráběný materiál byla zvolena ocel C45 (dle ČSN 12 050). Použitý soustruh byl ZMN Sliven, který vyhovoval dostatečnou tuhostí a přesností. Každá destička byla testována při dvou řezných rychlostech ( $v_{c1} = 408$  m/min a  $v_{c2} = 580$  m/min) a čtyřech různých posuvech ( $f_1 = 0,15$  mm,  $f_2 = 0,20$  mm,  $f_3 = 0,25$  mm,  $f_4 = 0,30$  mm). Sledována byla odsoustružená délka do zničení destičky, která se dále přepočítala na počet rázů nebo do stanovené délky, která se rovnala 6000 rázů. Výsledky byly zapsány do tabulek a dále byly vyhodnoceny grafy výdrže destiček.

Z grafů je vidět, že ve většině případů se počet rázů s vyšší rychlostí a posuvem zmenšuje. Destička WG-300 vydržela při rychlosti 408 m/min a při všech posuvech limitních 6000 rázů. Během obrábění rychlostí 580 m/min počet rázů prudce klesl a pohyboval se okolo hodnoty 1300. Při posuvu 0,3 mm ale naopak počet lehce vzrostl na hodnotu 1400. Dle toho můžeme soudit, že destičku lze použít i při hrubování na rozdíl od typu GEM7. Pro použití destičky WG-300 se jeví jako vhodnější zvolení nižší řezné rychlosti při přerušovaném řezu.

Destička s označením GEM7 vydržela při nižší řezné rychlosti 6000 rázů až do posuvu 0,30 mm, kde počet rázů výrazně klesl. Při použití vyšší řezné rychlosti destička vydržela 5600 rázů při posuvu 0,15 mm. U posuvu 0,2 mm a 0,25 mm počet rázů na destičku prudce klesl a pohyboval se okolo hodnoty 3150. Při posuvu 0,3 mm počet rázů opět prudce klesl na hodnotu 1000 rázů. Z toho usuzuji, že destičku je lepší používat při operacích s nižším posuvem a menších nebo větších řezných rychlostech při přerušovaném řezu.

Pro získání přesnějších výsledků o oblastí použití destiček, by bylo vhodné provést měření i s jinými parametry obrábění například zvolit i jinou hloubku řezu. Dále by bylo vhodné měření provést i na jiných obráběných materiálech, nebo pomocí jiné zkoušky pro přerušovaný řez.

## Seznam použité literatury

- [1] ČEP, Robert. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu*: Disertační práce. Ostrava: FS VŠB-TUO, 2005, 101 s.
- [2] JURKO, Jozef; ZAJAC, Jozef; ČEP Robert. *Top trendy v obrábění 2. část–Nástrojové materiály*. Žilina: MEDIA/ST Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [3] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno: MM Publishing Praha, 2008, 235s. ISBN 978-80-254-2250-5.
- [4] HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika*. Brno: CCB Brno, 1995. 460s. ISBN 04-246-86
- [5] REINER, J. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky na simulátoru přerušovaného řezu: Diplomová práce*. Ostrava FS VŠB-TU Ostrava, 2009. 78 s.
- [6] BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; SADÍLEK, Marek; PETŘKOVSKÁ, Lenka; NOVÁKOVÁ, Jana. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2007 Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archived/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [7] VASILKO, Karol; HAVRILA, Michal; MARCINCIN-NOVÁK, Jozef; MÁDL, Jan; ZAJAC, Jozef. *Top trendy v obrábění, III. část – Technologie obrábění*. [I] Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80–968954–2–7.
- [8] MMspektrum. Monolitní keramické frézovací nástroje [online]. [cit. 15. listopadu 2010]. URL <<http://www.mmspektrum.com/clanek/monolitni-keramicke-frezovaci-nastroje>>
- [9] MMspektrum. Odolnost slinutých karbidů proti teplotním a mechanickým rázům [online]. [cit. 15. listopadu 2010]. URL <<http://www.mmspektrum.com/clanek/odolnost-slinutych-karbidu-proti-teplotnim-a-mechanickym-razum-2>>
- [10] MMspektrum. Odolnost slinutých karbidů proti teplotním a mechanickým rázům [online]. [cit. 15. listopadu 2010]. URL <<http://www.mmspektrum.com/clanek/odolnost-slinutych-karbidu-proti-teplotnim-a-mechanickym-razum>>

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Robertu Čepovi, Ph.D. za odborné vedení, rady a připomínky při zpracovávání této bakalářské práce.